Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 691-703

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 691-703

بررسی ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاءکننده و سینتیک تغییرات بافت خلال سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری در آب داغ

حامد بیکی[1]- ناصر همدمی[2]*- جلال پورتقی[3]

تاریخ دریافت: 1395/02/17
تاریخ پذیرش: 1395/08/01

چکیده

ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاءکننده با و بدون در نظر گرفتن اثر تولید آن‌ها و همچنین سینتیک تغییرات بافت طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در آب داغ در محدوده دمایی 50 تا 90°C مورد مطالعه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و در قالب طرح‌های فاکتوریل و کاملا تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) و آزمون اثر متقابل تیمارها به روش LS means در سطح اطمینان 95% صورت گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که افزایش دمای آنزیم‌بری به‌طور معنی‌دار ($P<0/05$) سبب افزایش ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء می‌شود. در نظر گرفتن اثر تولید قندهای احیاء سبب افزایش معنی‌دار ($P<0/05$) ضریب نفوذ مؤثر آن‌ها گردید که بیشترین مقدار (30/63%) این افزایش در دمای 50 درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. جهت مدل‌سازی انتقال جرم (قند احیاء) طی آنزیم‌بری، یک مدل عددی سه بعدی با ضریب نفوذ مؤثر ثابت بر اساس حل قانون دوم فیک در نرم‌افزار MATLAB توسعه داده شد. مدل عددی ارائه شده انطباق بالایی با داده‌های آزمایشگاهی نشان داد. افزایش دما و زمان آنزیم‌بری از سوی دیگر به‌طور معنی‌دار ($P<0/05$) سبب کاهش سفتی بافت خلال‌های سیب‌زمینی شد. برای توصیف تغییرات سفتی بافت طی آنزیم‌بری، مدل‌های سینتیکی متفاوتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل سینتیکی درجه اول با اثر محدودکنندگی محصول، بیشترین انطباق را با داده‌های آزمایشگاهی مربوط به کاهش سفتی بافت خلال داراست.

واژه‌های کلیدی: ضریب نفوذ مؤثر، تولید قند احیاء، سفتی بافت، مدل عددی، مدل سینتیکی.

مقدمه

سیب‌زمینی با تولید جهانی بیش از 325 میلیون تن در سال، محصول غیر دانه‌ای شماره یک جهان است. کشورهای چین، روسیه، هند، ایالات متحده آمریکا و اکراین تولیدکنندگان پیشرو سیب‌زمینی هستند (Bingol *et al*., 2014). خلال سیب‌زمینی سرخ شده با توجه به خصوصیات طعمی و بافتی ویژه بیشترین میزان تولید را در بین محصولات فرآوری شده سیب‌زمینی دارد (Van Loon *et al*., 2005). تیمار حرارتی سیب‌زمینی سبب ایجاد تغییرات شیمیایی، فیزیکی و ساختاری در آن می‌گردد که دامنه این تغییرات بستگی به دما و زمان فرایند حرارتی دارد. تیمارهای حرارتی سیب‌زمینی شامل آنزیم‌بری، پخت و سرخ کردن می‌باشند (Moyano *et al*., 2007). آنزیم‌بری فرآیندی است که در آن میوه و سبزی به‌منظور غیرفعال شدن آنزیم‌ها، هوازدایی و اصلاح بافت، حفظ رنگ، طعم و ارزش غذایی قبل از انجماد، کنسرو کردن، خشک کردن یا سرخ کردن حرارت داده می شوند (Goncalves *et al*., 2010). در صنعت معمولا از آب داغ و بخار برای آنزیم‌بری استفاده می‌شود. اخیرا از تکنیک پرتودهی مادون قرمز نیز جهت آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی به‌منظورکاهش جذب روغن در محصول نهایی استفاده شده است (Bingol *et al*., 2014). اگرچه آنزیم‌بری یک عملیات ساده به نظر می‌رسد اما انتقال حرارت در یک بستر سیال محصول و اثرات آن بر ویژگی های کیفی، مدل‌سازی مکانیسم‌های درگیر را بسیار مشکل می‌سازد. شرایط فراوری معمولا براساس غیرفعال شدن آنزیم‌ها تنظیم می‌گردد اما پارامترهای کیفی دیگر از قبیل رنگ و بافت نیز بایستی در نظر گرفته شوند (Zhiqiang Liu *et al*., 2007). آنزیم‌بری قبل از سرخ کردن سبب بهبود بافت و رنگ می‌شود و در برخی موارد به‌واسطه ژلاتیناسیون نشاسته سطحی می‌تواند جذب روغن را کاهش

1و 2- به‌ترتیب کارشناس‌ارشد و دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
3- دانش‌آموخته کارشناسی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* - نویسنده مسئول: Email: hamdami@cc.iut.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.55744

دهد (Kaymak *et al*., 1994). آنزیم‌بری در مراحل تولید خلال سیب‌زمینی سرخ شده معمولا با حرارت دادن در آب یا بخار در محدوده دمایی 85 –60 درجه سانتی‌گراد به مدت 40 – 20 دقیقه انجام می‌شود. دما و زمان دقیق آنزیم‌بری عمدتا به‌وسیله میزان قندهای احیاءکننده و خصوصیات بافتی گونه مورد نظر تعیین می‌شود (Aguilar *et al*., 1997). طی یک دوره زمانی طولانی بافت به‌عنوان یک ویژگی کیفی کمکی برای سنجش مقبولیت مواد غذایی شناخته شده است. بافت ماده غذایی به‌عنوان خصوصیتی تعریف شده است که در آن اجزای ساختاری ماده غذایی بر اساس نشانه‌های خارجی دارای طیفی از ریز ساختار تا درشت ساختار طبقه‌بندی می‌شوند. روش‌های عمده ارزیابی بافت مواد غذایی بر اساس آزمون‌های مکانیکی بوده و آزمون نفوذسنجی به فراوانی جهت ارزیابی بافت مواد غذایی به‌کار می‌رود (Nisha *et al*., 2006). در دمای آنزیم‌بری نشاسته به‌طور جزئی ژلاتینه شده اما چسبندگی درون سلولی حفظ می‌شود (Aguilar *et al*., 1997). تفاوت اصلی در ظاهر بافت آنزیم‌بری شده در مقایسه با بافت پخته شده در این است که در آنزیم‌بری شکل اصلی سلول‌ها حفظ شده و حتی بعد از فرآیندهای بعدی نیز تغییر نمی‌کند. باید توجه داشت که آنزیم‌بری بیش از حد نیز باعث کاهش عمده در مواد مغذی، عطر و طعم، رنگ و بافت می‌شود. بنابراین تعیین دما و زمان آنزیم‌بری برای تولید محصولی با کیفیت مطلوب ضروری است (Richter Reis *et al*., 2007). دمای بالای آنزیم‌بری سبب آسیب‌های ساختاری و تقلیل بافت سبزیجات می‌گردد (Anderson *et al*., 1994). آنزیم‌بری در محدوده دمایی 75 –55 درجه سانتی گراد باعث بهبود سفتی و استحکام بافت سبزیجات می‌شود و آسیب‌های فیزیکی و پوسته شدن طی فرایند را کاهش می‌دهد (Verlinden *et al*., 2000). بنابراین یک تیمار آنزیم‌بری شامل دمای پایین و زمان نسبتا طولانی به دنبال دمای بالا و زمان کوتاه در به حداقل رساندن آسیب‌های بافتی سبزیجات و غیرفعال کردن آنزیم‌های نامطلوب مؤثرتر است (Pedreschi *et al*., 2009). برخی محققین شرایط بهینه جهت آنزیم‌بری سیب‌زمینی را در محدوده دمایی 65 –60 درجه سانتی گراد به مدت 35- 25 دقیقه به‌منظور حصول خصوصیات بافتی مطلوب ذکر کرده‌اند (Canet *et al*., 2005). جهت پیش‌بینی کاهش سفتی بافت طی فرآوری و نگهداری مواد غذایی، برآورد شاخص‌های سینتیکی شامل ثابت سرعت (k) و انرژی فعال‌سازی (E_a) ضروری است (Stoneham *et al*., 2000). توصیف تغییرات بافت سبزیجات طی فرآیندهای آنزیم‌بری و پخت عمدتا از طریق سینتیک درجه اول و در نظر گرفتن یک یا دو فاز مجزای نرم شدن بافت (فاز ابتدایی سریع و متعاقبا فاز آهسته) انجام شده است (Rahardjo *et al*., 1993; Anzaldua-Maroles *et al*., 1996; Nisha *et al*., 2006). مدل سینتیکی دیگری نیز بر اساس واکنش‌های شیمیایی برگشت‌ناپذیر جهت توصیف تغییرات بافت طی فرآیندهای حرارتی برخی از محصولات سیب‌زمینی پیشنهاد شده است (Moyano *et al*., 2007).

رنگ سیب‌زمینی سرخ شده در اثر انجام واکنش میلارد و تشکیل آکریل آمید در محصول می‌باشد (Mottram *et al*., 2002; Stadler *et al*., 2002). آکریل آمید در اثر واکنش میلارد بین سوبستراهای قند احیاءکننده و آسپارژین موجود در سیب‌زمینی طی سرخ کردن تشکیل می‌شود و سرطان‌زایی آن در موش به اثبات رسیده است. میزان این سوبستراها را می‌توان از طریق آنزیم‌بری سیب‌زمینی در آب داغ کاهش داد (Pedreschi *et al*., 2004). نتایج تحقیقات نشان داده است که کاهش مقدار قندهای احیاء قبل از سرخ کردن، یک عامل مؤثر جهت کاهش مقدار آکریل آمید در خلال سیب‌زمینی سرخ شده است (Sanny *et al*., 2012). انتقال جرم در فرآیندهای صنایع غذایی اهمیت بسیاری دارد و شامل انتقال رطوبت، نفوذ (انتشار) مواد محلول و ترکیبات عطری و طعمی می‌باشد (Welti-changes *et al*., 2003). خروج قندهای احیاء از بافت سبزیجات طی آنزیم‌بری بر اساس پدیده نفوذ صورت می‌گیرد (Kaymak *et al*., 1994). Garrote و همکاران (1984) با در نظر گرفتن هندسه تیغه (اسلب) نامحدود برای ورقه‌های سیب‌زمینی، ضریب نفوذ مؤثر گلوکز را طی آنزیم‌بری در محدوده دمایی 85 –65 درجه سانتی گراد بر اساس حل قانون دوم فیک اندازه‌گیری کردند. در مطالعه دیگری، سینتیک خروج قندهای احیاء طی آنزیم‌بری ورقه‌های سیب‌زمینی در محدوده دمایی 90 –60 درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار گرفته و یک مدل تک بعدی بر اساس حل قانون دوم فیک جهت توصیف خروج قندهای احیاء ارائه شده است (Pedreschi *et al*., 2009).

در مطالعات پیشین در زمینه تغییرات میزان قندهای احیاءکننده طی آنزیم‌بری سیب‌زمینی، مشخص شده است که در کنار انتقال جرم به داخل آب بلانچر، احتمالا به دلیل هیدرولیز آنزیمی نشاسته، قندهای احیاءکننده می‌توانند تولید شوند. بنابراین هنگام پیش‌بینی تغییر غلظت قندهای احیاءکننده، هر دو مکانیسم بایستی در نظر گرفته شوند (Califano *et al*., 1983).

با توجه به مطالب مذکور تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تأثیر تولید داخلی قندهای احیاء بر ضریب نفوذ مؤثر آن‌ها طی آنزیم‌بری انجام نشده است و مطالعه جامعی در ارتباط با سینتیک تغییرات بافت طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در دماهای مختلف در دسترس نیست. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده و همچنین ارتباط مستقیم قندهای احیاءکننده با واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی و تشکیل آکریل آمید در سیب‌زمینی، اهداف تحقیق کنونی عبارتند از: 1) تعیین ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء با و بدون در نظر گرفتن اثر تولید آن‌ها طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در محدوده دمایی 90 –50 درجه سانتی گراد و توسعه یک مدل سه‌بعدی انتقال جرم (قندهای احیاء) بر اساس حل قانون دوم فیک در نرم‌افزار MATLAB، 2) بررسی و مدل‌سازی

سینتیک تغییرات بافت طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در محدوده دمایی 90 –50 درجه سانتی گراد. با توجه به اهمیت فرآیند آنزیم‌بری و لزوم انجام آن قبل از سرخ کردن سیب‌زمینی، شناخت و بررسی پدیده‌های درگیر در فرآیند مذکور امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

سیب‌زمینی با رقم آگریا (23% ماده خشک) به میزان 100 کیلوگرم از منطقه فریدن اصفهان خریداری و در سردخانه دانشکده کشاورزی در دمای 4 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 90% نگهداری شد.

تهیه خلال‌های سیب‌زمینی و آنزیم‌بری

سیب‌زمینی‌ها قبل از مصرف به مدت 2 هفته در دمای 20 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از شستشو و پوست‌گیری توسط دستگاه خلال‌کن (Halldeh، RG-100، سوئد) به‌صورت خلال‌هایی با ابعاد 0/8×0/8×8 سانتی‌متر برش داده شدند. خلال های سیب‌زمینی خام بلافاصله پس از برش به‌منظور حذف نشاسته سطحی به مدت 1 دقیقه در آب مقطر شستشو شده سپس آنزیم‌بری خلال‌ها در آب مقطر داغ (با نسبت وزنی سیب‌زمینی به آب 1 به 20) با دماهای 50، 60، 70، 80 و 90 درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. جهت بررسی سینتیک تولید قندهای احیاءکننده طی آنزیم‌بری، خلال‌ها به‌صورت 2 تایی در بسته‌های پلی‌اتیلنی (HDPE با ضخامت 10 میکرون) بسته‌بندی شده و با غوطه‌وری در حمام آب در دماهای 50، 60، 70، 80 و 90 درجه سانتی‌گراد آنزیم‌بری شدند. نمونه‌های خلال سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری در فواصل زمانی 5، 10، 15، 20، 40، 60، 80، 100 و 120 دقیقه جهت اندازه‌گیری قندهای احیاءکننده، محتوای رطوبت و سفتی بافت از حمام آب خارج شدند.

تعیین رطوبت

برای اندازه‌گیری رطوبت، 5-3 گرم نمونه کاملا خرد و همگن شده به مدت 24 ساعت در آون خلأ (Fine Tech، SSVO-502، کره جنوبی) تحت فشار 100 میلی‌متر جیوه و دمای 70 درجه سانتی‌گراد خشک گردید. میزان رطوبت نمونه‌ها بر اساس معادله 1 محاسبه گردید (AOAC, 1984).

(1) 100× وزن اولیه نمونه/ (وزن نهایی نمونه- وزن اولیه نمونه)= درصد رطوبت

قندهای احیاء کننده

اندازه‌گیری قندهای احیاء کننده به روش اسپکتروفتومتری با محلول 3 و5- دی نیترو سالیسیلیک اسید در طول موج 575 نانومتر انجام شد (Miller, 1959). مطابق با روش مذکور حدود 3 گرم نمونه خرد و همگن شده با 20 میلی‌لیتر اتانول 70% داغ به مدت 30 ثانیه ورتکس شد. پس از عبور دادن مخلوط از کاغذ صافی، محلول حاصله با آب مقطر به حجم 50 میلی‌لیتر رسیده و به مدت 10 دقیقه با سرعت 3000 دور در دقیقه سانتریفوژ شد. سپس جهت حذف کلیه ناخالصی‌های غیرقندی، محلول مورد نظر از فیلتر 0/45 میکرون عبور داده شد. 3 میلی‌لیتر از محلول صاف شده نهایی همراه با 3 میلی‌لیتر از محلول 1% دی نیترو سالیسیلیک اسید به درون لوله آزمایش انتقال یافت. نمونه شاهد (آب مقطر) و استانداردهای گلوکز (غلظت‌های 50، 100، 200 و 400 میلی‌گرم در لیتر گلوکز) نیز هر کدام به میزان 3 میلی‌لیتر همراه با 3 میلی‌لیتر محلول 1% دی نیترو سالیسیلیک اسید به لوله‌های مجزا انتقال داده شدند. لوله‌ها به مدت 15- 10 دقیقه جهت انجام واکنش و پیدایش رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای به حمام آب 90 درجه سانتی‌گراد انتقال داده شدند. پس از خروج لوله‌ها از حمام، به هریک از لوله‌ها 1 میلی‌لیتر از محلول 40% سدیم پتاسیم تارتارات (جهت پایداری کمپلکس رنگی) اضافه گردید و بلافاصله لوله‌ها با آب سرد تا دمای محیط خنک شده و جذب هر نمونه با استفاده از اسپکتروفتومتر (Unico،uv-1200، آمریکا) در طول موج 575 نانومتر تعیین گردید. پس از رسم منحنی کالیبره کردن (مقدار جذب به‌عنوان تابعی از غلظت) برای محلول‌های استاندارد و پیدا کردن معادله خط، با داشتن مقدار جذب نمونه، غلظت قندهای احیاءکننده در نمونه موردنظر تعیین شد.

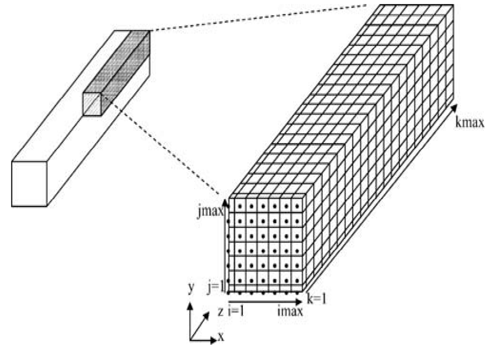
ارزیابی بافت

ارزیابی بافت خلال‌ها در دمای اتاق و با استفاده از آزمون نفوذسنجی با پروب 2 میلی‌متری، سرعت نفوذ 120 میلی‌متر بر دقیقه و لودسل 50 کیلوگرم در دستگاه کشش و فشار (STM، STM-20، ایران) انجام شد. شاخص ارزیابی بافت حداکثر استرس ایجاد شده در اثر نفوذ پروب به درون بافت بود. (استرس= نیرو تقسیم بر سطح مقطع پروب).

مدل‌سازی انتقال جرم و تعیین ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاءکننده

جهت توصیف انتقال جرم (خروج قندهای احیاء) طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی از توسعه یک مدل سه بعدی در نرم‌افزار MATLAB (Version 7.14 R2012a) بر اساس حل قانون دوم فیک به روش تفاضل محدود استفاده شد. فرضیات مدل مذکور عبارتند از:

الف) شکل هندسی خلال سیب‌زمینی به‌صورت یک مکعب نیمه محدود می‌باشد (شکل 1).



شکل 1- هندسه خلال سیب‌زمینی به‌صورت یک مکعب نیمه محدود (Gokmen *et al*., 2008).

ب) غلظت قند احیاء در سرتاسر خلال سیب‌زمینی قبل از ورود آن به داخل آب داغ یکنواخت و برابر با مقدار ثابتی است.

ج) انتقال جرم در داخل خلال سیب‌زمینی به‌صورت سه بعدی انجام می‌شود.

د) تغییر حجم طی فرایند وجود ندارد.

ه) ضریب انتقال جرم در سطح ثابت و یکنواخت در نظر گرفته شده است.

برای توسعه مدل در حالت سه‌بعدی فرض شده است که به محض قرار گرفتن خلال سیب‌زمینی در آب داغ، تبادل جرم در سطح خلال رخ می‌دهد که شدت آن با توجه به ثابت بودن غلظت اجزاء در آب آنزیم‌بری عمدتا توسط ضریب تبادل جرم قند احیاء (k_{RS}) کنترل می‌گردد. سپس به تبع تبادل جرم در سطح، نفوذ غیرپایدار قند احیاء طی آنزیم‌بری در داخل خلال رخ می‌دهد و قند احیاء از داخل خلال به طرف سطح آن نفوذ می‌کند. سیستم معادلات مورد استفاده برای توصیف انتقال‌جرم عبارت است از (Welti-changes *et al*., 2003):

الف) معادله اصلی (قانون دوم فیک):

$$\frac{\partial C_{RS}}{\partial t}=D_{RS}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial C_{RS}}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial C_{RS}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial C_{RS}}{\partial z}\right)\right]\quad ,t>0\quad ,0<x,y,z<L \qquad (2)$$

ب) شرایط مرزی در مرکز خلال:

$$\frac{\partial C_{RS}}{\partial x}=0\ ,\ \frac{\partial C_{RS}}{\partial y}=0\ ,\ \frac{\partial C_{RS}}{\partial z}=0\qquad ,t>0\qquad ,x=y=z=0 \qquad (3)$$

ج) شرایط مرزی در سطح خلال:

$$-D_{RS}\frac{\partial C_{RS}}{\partial i}=k_{RS}\left(C_{RS,P}-C_{RS,W}\right)\quad ,i=x,y,z\quad ,t>0\quad ,x,y,z=L \qquad (4)$$

د) شرایط اولیه:

$$C_{RS}=C_{RS_0}\qquad ,t=0\qquad ,0\le x,y,z\le L \qquad (5)$$

در معادلات 2 تا 5، t عبارت است از زمان آنزیم‌بری و L نشان‌دهنده نصف بعدهای طول (z)، عرض (x) و ضخامت خلال (y) است و C_{RS}، D_{RS}، k_{RS} و $C_{RS,\ W}$ به‌ترتیب عبارتند از: غلظت قند احیاء باقیمانده در خلال (گرم در100 گرم ماده خشک)، ضریب نفوذ مؤثر قند احیاء (m^2/s)، ضریب انتقال جرم قند احیاء در سطح ($1/77\times10^{-5}$ m/s) (Califano *et al*., 1983) و غلظت قند احیاء در آب آنزیم‌بری (گرم در100گرم).

استخراج ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء کننده با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به خروج و تولید آن‌ها طی آنزیم‌بری و به روش معکوس (Gekas *et al*., 2000) به ازای بهترین همپوشانی نتایج مدل با داده‌های آزمایشگاهی قند احیاء باقیمانده در خلال برای هر یک از دماهای آنزیم‌بری انجام گرفت. جهت وارد کردن اثر تولید قندهای احیاء در مدل مذکور، بجای غلظت قند احیاء باقیمانده در خلال از غلظت قند احیاء خالص باقیمانده در خلال (تفاضل غلظت قند احیاء تولید شده در خلال از غلظت قند احیاء باقیمانده در خلال) استفاده شد. جهت توصیف وابستگی دمایی ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء از معادله آرنیوس استفاده گردید. (Pedreschi *et al*., 2009):

$$D_{eff}=D_0\exp(-E_a/RT) \qquad (6)$$

در معادله 6 عبارات D_{eff}، D_0، E_a، R و T به‌ترتیب نشان‌دهنده ضریب نفوذ مؤثر قند احیاء در دمای T، ثابت آرنیوس (1/s)، انرژی فعال‌سازی (kJ/mol)، ثابت جهانی گازها (8/314 J/mol.^{o}K) و دمای مطلق آنزیم‌بری (^{o}K) می‌باشد.

اعتبارسنجی مدل بر مبنای مقایسه داده‌های آزمایشی و داده‌های مدل با استفاده از فاکتور ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE%) انجام شد (Pedreschi *et al*., 2009):

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{y_{exp}-y_{cal}}{y_{exp}}\right)^2} \qquad (7)$$

عبارات y_{exp}، y_{cal} و N در معادله 7 به‌ترتیب نشان‌دهنده مقادیر آزمایشی، مقادیر پیش‌بینی شده و تعداد داده‌ها هستند.

مدل‌سازی سینتیکی تغییرات بافت طی آنزیم‌بری

جهت توصیف تغییرات بافت طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی از سینتیک درجه اول با اثر محدودکنندگی محصول (معادله 8) استفاده شد و وابستگی دمایی ثابت سرعت با استفاده از معادله آرنیوس (معادله 9) بررسی گردید (Toledo, 2007).

$$MS\ (Maximum\ Stress)=\frac{MS_e}{1-\exp(-kt-B)} \qquad (8)$$

عبارات MS، MS_e، k، B و t در معادله 8 به‌ترتیب عبارتند از: حداکثر استرس در زمان t (N/mm^2)، حداکثر استرس پس از 120

دقیقه آنزیم‌بری در دمای مربوطه، ثابت سرعت (1/s)، فاکتور بدون بعد و زمان آنزیم‌بری می‌باشند (بر اساس داده‌های آزمایشی، مقدار MS_e در دماهای 50، 60، 70، 80 و 90ºC به‌ترتیب برابر با 0/3567، 0/2812، 0/1824، 0/0922 و 0/0305 N/mm² بود).

$$k = k_0 \exp(-E_a/RT) \qquad (9)$$

عبارات k، k_0، E_a، R و T در معادله 9 به‌ترتیب نشان‌دهنده ثابت سرعت در دمای T (1/s)، ثابت آرنیوس، انرژی فعال‌سازی (kJ/mol)، ثابت جهانی گازها (8/314 J/mol.ºK) و دمای مطلق آنزیم‌بری (ºK) می‌باشند. اعتبارسنجی مدل پیشنهادی تغییرات بافت نیز (معادله 8) با استفاده از فاکتور ریشه میانگین مربعات خطا (معادله 7) صورت گرفت.

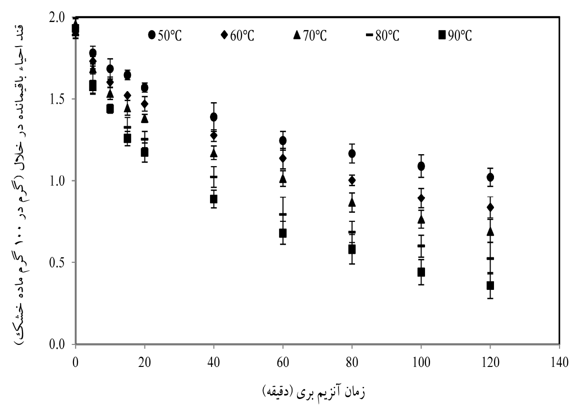
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

کلیه آزمایشات به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شدند. تحلیل آماری اثر دما بر ضرایب نفوذ و ثابت‌های سرعت بر اساس طرح کاملا تصادفی صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Statistical Analysis System, Version 9.1.3, Cary, NC, USA, 2005) و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. آزمون مقایسه میانگین داده‌ها به روش حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) و آزمون اثر متقابل تیمارها به روش LS means در سطح اطمینان 95% (P<0/05) انجام گرفت.

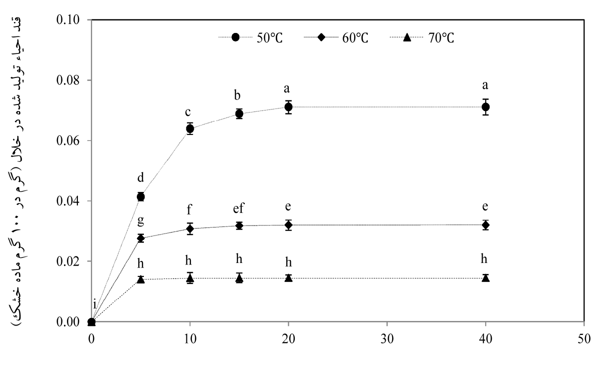
نتایج و بحث

ضریب نفوذمؤثر قندهای احیاءکننده

سینتیک خروج و تولید قندهای احیاء کننده طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در محدوده دمایی 50– 90Cº بترتیب در شکل‌های 2 و 3 نشان داده شده است.



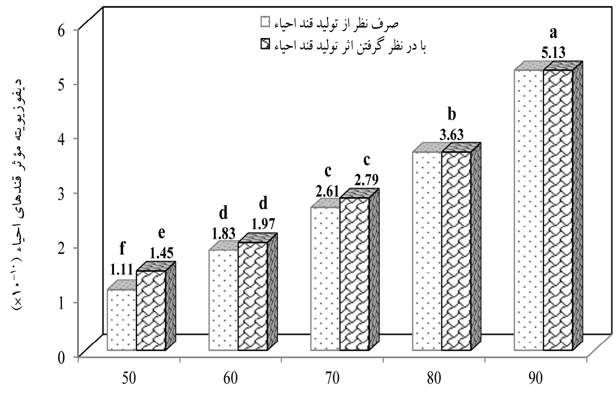
شکل2- سینتیک خروج قندهای احیاء طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در دماهای مختلف.



شکل 3- سینتیک تولید قندهای احیاء طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در دماهای مختلف (حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (P<0/05) است).

با توجه به شکل 2، افزایش دما و زمان آنزیم‌بری به‌طور معنی‌دار (P<0/05) سـبب افـزایش خـروج قنـدهای احیـاء از بافـت خـلال سیب‌زمینی می‌شود. سرعت خروج قنـدهای احیـاء در ابتـدای فراینـد بیشتر است و به تدریج با افزایش زمان آنزیم‌بری کـاهش مـی‌یابـد. گزارش شده است که با افزایش دمای آنـزیم‌بـری سـرعت اسـتخراج قندهای احیاء از بافت ورقه‌های سیب‌زمینی افزایش می‌یابد و قسمت عمده قندهای احیاء طـی 20 ثانیـه اول فراینـد از بافـت ورقـه‌هـای سیب‌زمینی وارد آب آنزیم‌بری می‌شوند و بـا ادامـه فراینـد بـه علـت ژلاتیناسیون نشاسته سطحی سرعت خـروج قنـدهای احیـاء کـاهش می‌یابد (Pedreschi *et al.*, 2009). تولید قندهای احیاء (شکل 3) با افزایش زمان آنزیم‌بری بـه‌طـور معنـی‌دار (P<0/05) ابتـدا افـزایش می‌یابد و سپس ثابت می‌گردد. در دماهای بالاتر، مدت زمان و میزان تولید قندهای احیاء کاهش می‌یابد (P<0/05) به‌طوری که در دماهای 80 و 90ºC هیچ گونه تولید قند احیاء مشاهده نشد.

گزارش شده است که طی آنـزیم‌بـری سیـب‌زمینـی در دماهـای پایین‌تر از 75 Cº (احتمالا در اثـر هیـدرولیز آنزیمـی نشاسـته) و در دماهای بالاتر (به علت تخریب کامل آنزیم اینورتاز)، به‌ترتیب تولیـد قندهای احیاء و ژلاتیناسیون نشاسته مکانیسـم‌هـای غالـب هسـتند (Califano *et al.*, 1983). ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاءکننده با و بدون در نظر گرفتن اثر تولید آن‌ها در شکل 4 نشان داده شده است. با توجه بـه شـکل 4 افـزایش دمـای آنـزیم‌بـری بـه‌طـور معنـی‌دار (P<0/05) سبب افزایش ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء می‌شود.



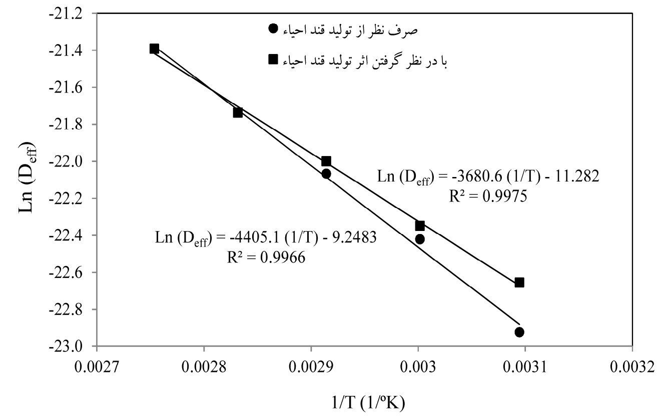
شکل 4- ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء با و بدون در نظر گرفتن اثر تولید آن‌ها در دماهای مختلف (حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (P<0/05) است).

در نظر گرفتن اثر تولید قندهای احیاء نیز سبب افـزایش ضـریب نفوذ مؤثر آن‌ها (به‌ترتیب 30/63، 7/65 و 6/89 % در دماهای 50، 60 و 70 ºC) شده است که این افزایش با توجه به میزان بالای تولید قند (3/54%) در دمای 50 ºC معنی‌دار (P<0/05) است. مقـادیر بدسـت آمده برای ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء در ایـن مطالعـه بیشـتر از مقـادیر گـزارش شـده ($1/2-1/7 \times 10^{-11}$) بـرای آنـزیم‌بـری خـلال سیب‌زمینـی در محـدوده دمـایی 70 – 100 ºC (Kaymak *et al.*, 1994) است و در محدوده مقـادیر گـزارش شـده ($2/9-5/5 \times 10^{-10}$) برای آنزیم‌بری ورقه سیب‌زمینی در محدوده دمایی 60- 90 ºC قرار دارد (Pedreschi *et al.*, 2009). وابستگی دمایی ضریب نفوذ مـؤثر قندهای احیاء مطابق با معادله آرنیوس، در شکل 5 نشـان داده شـده است.

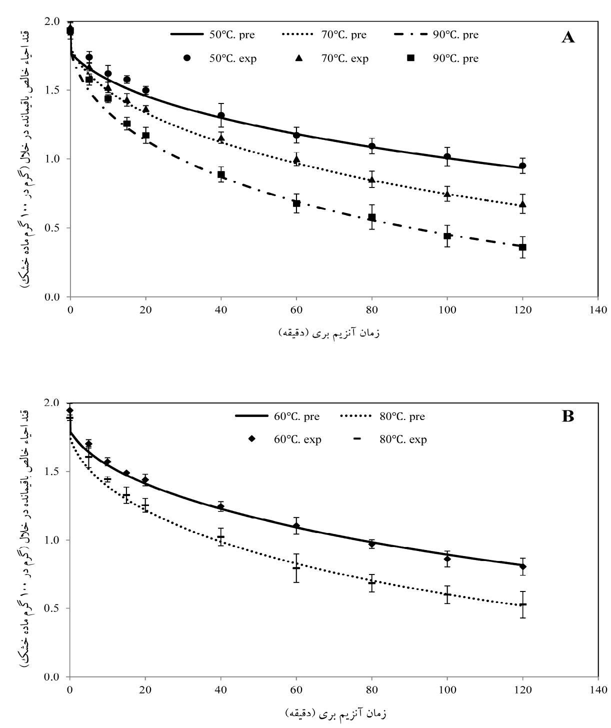
بر اساس شکل 5، انرژی فعال¬سازی فرایند در دو حالت صـرف نظر از تولید قند احیاء و در نظر گرفتن اثر تولید قنـد احیـاء محاسـبه گردید (به‌ترتیب 36/62 و 59/30 kJ/mol). نتایج نشـان داد کـه در نظر گرفتن اثر تولید قند احیـاء سـبب کـاهش (19/71%) معنـی¬دار (P<0/05) انرژی فعال¬سازی می¬گردد. انرژی فعال سازی معـرف خوبی از مکانیسم غالب در فرایندهای نفوذ می¬باشد و محـدوده آن برای نفوذ آبی در مواد غذایی نشاسته¬ای 17- kJ/mol 43 ذکر شده است (Saravacos *et al.*, 2001). میزان انرژی مـذکور بـرای نفـوذ قندهای احیاء طی آنزیم‌بری (بدون در نظر گرفتن اثر تولید قند احیاء) خلال سیب‌زمینی در محدوده¬های دمایی 70-ºC 100 (Kaymak *et al.*, 1994) و 60-ºC 70 (Califano *et al.*, 1983) و بـرای ورقه¬های سیب‌زمینی در محدوده دمـایی 60-ºC 90 (Pedreschi *et al.*, 2009) به‌ترتیب برابر با 14/3، 41/8 و 4/3 kJ/mol گـزارش شده است که به‌ترتیب کمتر، بیشتر و کمتر از مقدار به‌دست آمـده در مطالعه حاضر (62/36 kJ/mol) می¬باشند. علت وابسـتگی دمـایی ضعیف (انرژی فعال¬سازی پایین) ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء در دماهای بالا (70-ºC 100) طی آنزیم‌بـری خـلال سیب‌زمینـی، در ارتباط با ژلاتینه شدن نشاسته ذکـر شـده اسـت (Kaymak *et al.*,

1994).

نتایج حاصل از مدل عددی توسعه داده شده در شکل 6 نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور، مدل پیشنهادی با انطباق خوبی داده¬های آزمایشگاهی را پیش‌بینی نموده است. در اعتبارسنجی مدل عددی، مقادیر فاکتور ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE%) در محدوده دمایی 50-90°C، 2/01- 3/49 بدست آمد که کمتر از مقادیر گزارش شده (9/98- 6/86) برای مدل یک بعدی در محدوده دمایی 60-90 °C (Pedreschi *et al.*, 2009) است و نشان دهنده انطباق بالاتر مدل سه بعدی پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی است.



شکل 5- وابستگی دمایی ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء بر اساس معادله آرنیوس.



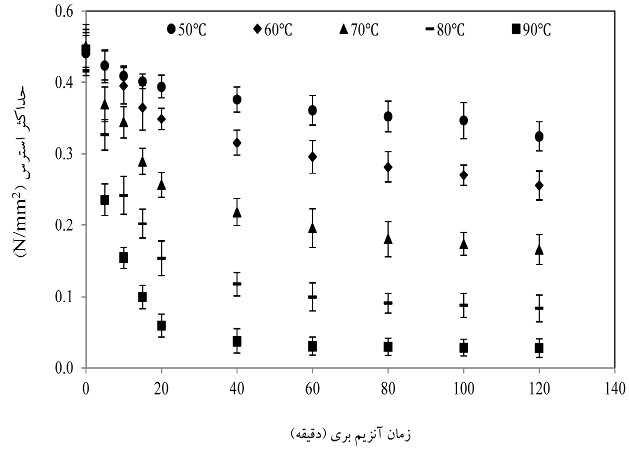
شکل 6- مقادیر قند احیاء آزمایشگاهی (exp) و پیش‌بینی شده مدل (pre) طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در دماهای 50، 70، 90 (A) و 60، 80°C (B).

سینتیک تغییرات بافت طی آنزیم‌بری

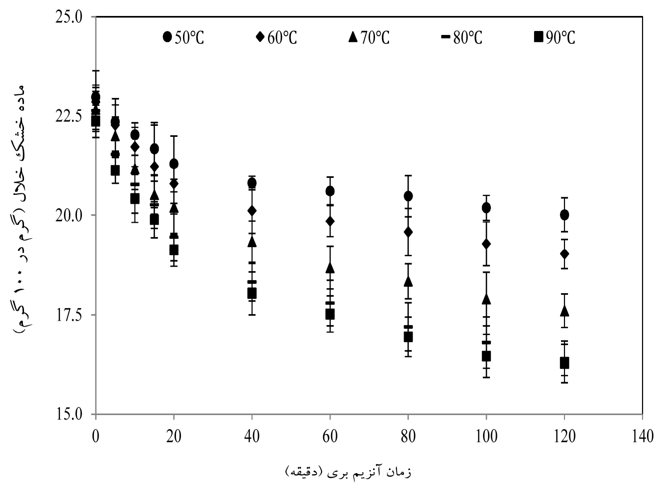
سینتیک تغییرات بافت خلال سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری در دماهای مختلف در شکل 7 نشان داده شده است.

با افزایش دما و زمان آنزیم‌بری (شکل 7)، با توجه به کاهش

معنی‌دار (P<0/05) ماده خشک خلال (شکل 8)، سفتی بافت به‌طور معنی‌دار (P<0/05) کاهش می‌یابد و کاهش سفتی در ابتدای فرایند دارای سرعت زیادی است که با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در دماهای پایین (خصوصا 50 ºC) سفتی بافت نسبتا حفظ شده و روند کاهش سفتی با سرعت کمتری نسبت به دماهای بالاتر صورت گرفته است.



شکل 7- سینتیک تغییرات بافت طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در دماهای مختلف.

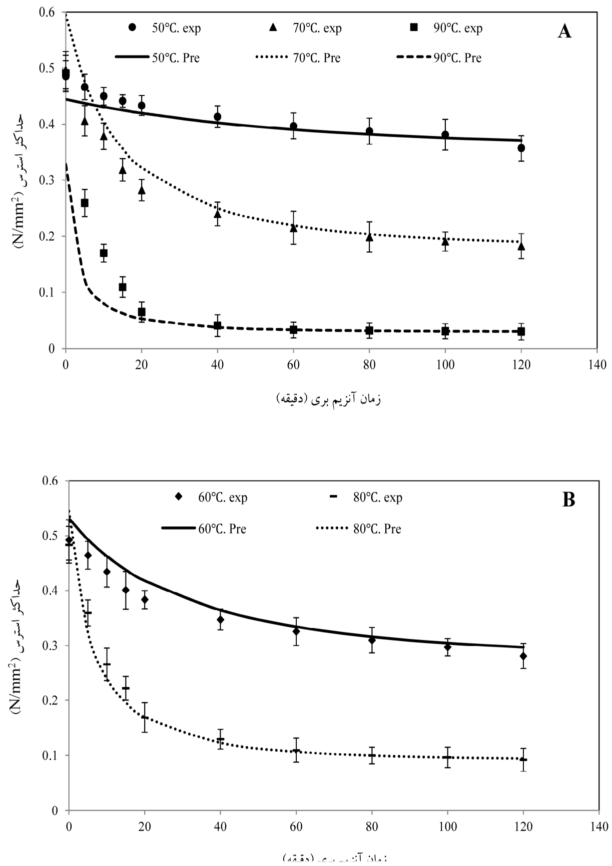


شکل 8- تغییرات ماده خشک طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی در دماهای مختلف.

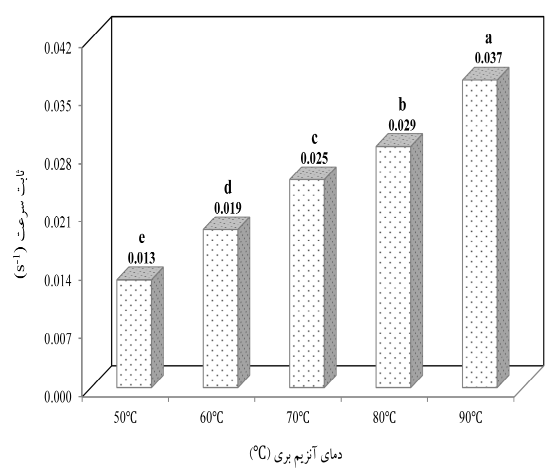
مطابق با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، گزارش شده است که آنزیم‌بری در محدوده دمایی 50-100ºC به علت تجزیه پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی و ژلاتیناسیون نشاسته سبب کاهش سفتی بافت قطعات مکعبی سیب‌زمینی می‌گردد (Moyano *et al.*, 2007). همچنین در تضاد با نتایج مذکور، گزارش شده است که در محدوده دمایی 50-70ºC فعالیت آنزیم پکتین‌متیل‌استراز رو به افزایش می‌گذارد و سبب استرزدایی پکتین موجود در دیواره سلولی می‌گردد. پکتین استر زدایی شده با یون‌های دو ظرفیتی کلسیم موجود در بافت سیب زمینی واکنش داده و با تشکیل پکتات کلسیم سبب افزایش سفتی بافت می گردد (Bartolome *et al.*, 1972; Stanly *et al.*, 1995). مدل سینتیک درجه اول با اثر محدود کنندگی محصول قابلیت انطباق بالایی (RMSE% برابر با 4/24-29/79 در محدوده دمایی 50-90ºC) با داده‌های آزمایشگاهی تغییرات بافت طی آنزیم‌بری خلال سیب‌زمینی نشان داد (شکل 9).

با توجه به شکل 10، افزایش دمای آنزیم بری به‌طور معنی¬دار (P<0/05) سبب افزایش ثابت سرعت فرایند کاهش سفتی بافت خلال سیب زمینی می¬گردد. انرژی فعال¬سازی فرایند مذکور با به‌کارگیری معادله آرنیوس (شکل 11) در مورد ثابت¬های سرعت در محدوده دمایی 50-90 ºC، 64/24 kJ/mol محاسبه گردید که بیشتر از مقدار گزارش شده (55/18 kJ/mol) بر اساس سینتیک درجه اول

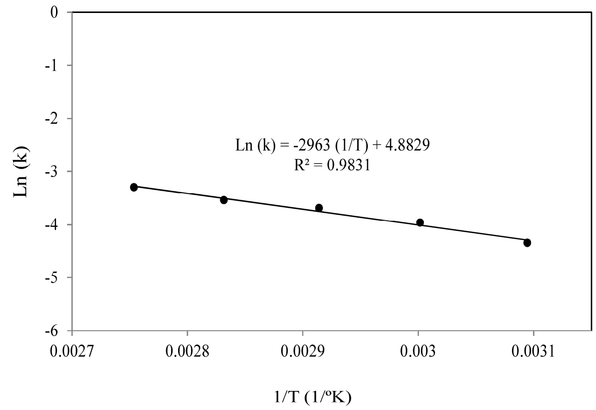
برای آنزیم‌بـری قطعـات مکعبـی سـیب‌زمینـی در محـدوده دمـایی (^{o}C100-50 (Nisha et al., 2006 است.



شکل 9- تغییرات بافت آزمایشگاهی (exp) و پیش بینی شده مدل (pre) طی آنزیم بری خلال سیب زمینی در دماهای 50، 70، 90 (A) و 60، 80^{o}C (B).



شکل 10- ثابت سرعت فرایند کاهش سفتی بافت خلال سیب زمینی طی آنزیم بری در دماهای مختلف (حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار (P<0/05) است).



شکل 11- وابستگی دمایی ثابت سرعت فرایند کاهش سفتی بافت بر اساس معادله آرنیوس.

کمتر بودن مقادیر فاکتور RMSE% بدست آمده در این مطالعه نسبت به مقادیر گزارش شده (44- 6/2) برای توصیف تغییرات بافت قطعات مکعبی سیب زمینی طی آنزیم بری با استفاده از سینتیک درجه اول (Nisha *et al*., 2006)، حاکی از انطباق بالاتر سینتیک درجه اول با اثر محدودکنندگی محصول با نتایج آزمایشگاهی است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاءکننده و سینتیک تغییرات بافت خلال سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری در آب داغ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که:

1) طی آنزیم‌بری، در کنار نفوذ قندهای احیاء به داخل آب آنزیم‌بری تولید آن‌ها نیز در داخل بافت صورت می‌گیرد.

2) افزایش دمای آنزیم‌بری به‌طور معنی‌دار (P<0/05) سبب افزایش ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء می‌گردد.

3) در نظر گرفتن اثر تولید قندهای احیاء به‌طور معنی‌دار (P<0/05) سبب افزایش ضریب نفوذ مؤثر آن‌ها و کاهش انرژی فعال‌سازی فرایند می‌گردد، بنابراین هنگام بررسی ضریب نفوذ مؤثر قندهای احیاء بایستی هر دو مکانیسم خروج و تولید آن‌ها در نظر گرفته شود.

4) مدل سه بعدی توسعه داده شده قابلیت انطباق بالایی با نتایج آزمایشگاهی قندهای احیاء نشان داد.

5) افزایش دما و زمان آنزیم بری به‌طور معنی‌دار (P<0/05) سبب کاهش ماده خشک و سفتی بافت می‌گردد.

6) برای توصیف تغییرات بافت طی آنزیم بری خلال سیب‌زمینی می‌توان از مدل سینتیکی درجه اول با اثر محدودکنندگی محصول استفاده نمود.

منابع

Aguilar, C., A, Anzaldua., R, Talamas., and G, Gastelom. 1997. Low- temperature blanch improves textural quality of French fries. *Journal of Food Science*. 62 (3): 568-571.

Anderson, A., V, Gekas., and I, Lind. 1994. Effect of preheating on potato texture. *Journal of Food Science and Nutrition*. 34: 229–251.

Anzaldua-Morales, A., A, Quintero., and R, Baladran. 1996. Kinetics of thermal softening of six legumes during cooking. *Journal of Food Science*. 61 (1): 167–170.

AOAC. 1984. Association Official Analytical Chemists. The official methods of analysis. Method 28.074. *Arlington*. VA: AOAC.

Bartolome, L.G., and G.E, Hoff. 1972. Firming of potatoes: biochemical effect of preheating. *Agricaltural and Food Chemistry*. 20: 266-270.

Bingol, G., B, Wang., A, Zang., Z, Pan., and T.H.M, Hugh. 2014. Comparison of water and infrared blanching methods for processing performance and final product quality of French fries. *Journal of Food Engineering*. 121: 135–142.

Califano, A.N., and A, Calvelo. 1983. Heat and mass transfer during the warm water blanching of potatoes. *Journal of Food Science*. 48: 220-225.

Canet, W., M.D, Alvarez., and C, Fernandez. 2005. Optimization of low-temperature blanching for retention of potato firmness: effect of previous storage time on compression properties. *European Food Research and Technology*. 221:

423–433.

Garrote, R.L., R.A, Bertone., and E.R, Silva. 1984. Effect of soaking-blanching conditions on glucose losses in potato slices. *Journal of Canadian Instifute of Food Science and Technology*. 17: 111-113.

Gekas, V., A, Danae Doulia., and K, Tzia. 2000. Aknowledge base for the apparent mass diffusion coefficient (DEFE) of foods. *International Journal of Food Properties*. 3: 1-14.

Gokmen, V., and T.K, Palazoglu. 2008. Acrylamide Formation in Foods during Thermal Processing with a Focus on Frying. *Food Bioprocess Technology*. 1: 35–42.

Goncalves, E.M., J, Pinheiro., M, Abreu., T.R.S, Brandao., and C.L.M, Silva. 2010. Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*. 97: 574-581.

Kaymak, F., and N, Suzan Kincal. 1994. Apparent diffusivities of reducing sugars in potato strips blanched in water. *International Journal of Food Science and technology*. 29: 63-70.

Miller, G. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing Sugar. *Analitical Chemistry*. 31: 426–428.

Mottram, D.S., and B.L, Wedzicha. 2002. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. Nature. 419: 448–449.

Moyano, P., E, Troncoso., and F, Pedreschi. 2007. Modeling texture kinetics during thermal processing of potato products. *Journal of Food Science*. 72: 102–107.

Moyano, P.C., E, Troncoso., and F, Pedreschi. 2007. Texture Kinetics during Thermal Processing of Potato Products. *Journal of Food science*. 72: 102-107.

Nisha, P., R.S, Singhal., and A.B, Pandit. 2006. Kinetic modeling of texture development in potato cubes (*Solanum tuberosum*), green gram whole (*Vigna radiate* L.). Journal of Food Engineering. 76: 524–530.

Pedreschi, F., K, Kaack., and K, Granby. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. Lebensmittel-*Wissenschaft and Technology*. 37: 679–685.

Pedreschi, F., X, Travisany., C.R.E, Troncoso., and R, Pedreschi. 2009. Kinetics of extraction of reducing sugar during blanching of potato slices. *Journal of Food Engineering*. 91: 443–447.

Rahardjo, B., and S.K, Sastry. 1993. Kinetics of softening of foods. *Journal of Food Processing and Preservation*. 10: 311–329.

Richter Reis, F., M, Masson., and N, Waszezynskyj. 2007. Influence of blanching pretreatment on color oil uptake and water activity of potato sticks and its optimization. *Journal of Food Process Engineering*. 31: 833-852.

Sanny, M., S, Jinap., E.J, Bakker., M.A.J.S, Van Boekel., and P.A, Luning. 2012. Is lowering reducing sugars concentration in French fries an effective measure to reduce acrylamide concentration in food service establishments?. *Journal of Food Chemistry*. 135: 2012-2020.

Saravacos, G.D., and Z.B, Maroulis. 2001. Transport Properties of Foods. *Drying Technology*. New York. 19 (9): 2383-2384.

Stadler, R.H., I, Blank., N, Varga., F, Robert., J, Hau., A, Guy., P, Robert., and M.C, Riediker. 2002. Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*. 419: 449–450.

Stanly, D.W., M.C, Bourne., and A.P, Stone. 1995. Low temperature blanching effects on chemistry, firmness and structure of canned green beans and carrots. *Journal of Food Science*. 6: 327-333.

Stoneham, T.R., D.B, Lund., and C.H, Tong. 2000. The Use of Fractional Conversion Technique to Investigate the Effects of Testing Parameters on Texture Degradation Kinetics. *Journal of Food Engineering and Physical Properties*. 65 (6): 968-973.

Toledo, R.T. 2007. *Fundamental of Food Process Engineering*. 3rd de. Springer. (Athens). 8: 285-295.

Van Loon, W.A.M., J.P.H, Linssen., A, Legger., M.A, Posthumus., and A.G.J, Voragen. 2005. Identification and olfactometry of French fries flavour extracted at mouth conditions. *Journal of Food Chemistry*. 90: 417–425.

Verlinden, B., D, Yuksel., M, Baheri., J, De Baerdemaeker., and C, Van Dijik. 2000. Low temperature blanching effect on the changes in mechanical properties during subsequent cooking of three potato cultivars. International Journal of *Food Science and Technology*. 35: 331–333.

Welti-changes, J., F, Valez Ruiz., and G.V, Boarbosa-Canovas. 2003. Transport phenomena in Food processing. CRC press LLC. (*Florida*). 1: 18-38.

Zhiqiang Liu, E., and M, Scanlon. 2007. Modeling the Effect of Blanching Conditions on the Texture of Potato Strips. *Journal of Food Engineering*. 81: 292-297.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 691-703

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 703-691

Reducing sugars effective diffusivity and kinetic of texture changes during blanching of potato strips in hot water

H. Beyki[1], N. Hamdami*[2], J. Pourtaghi[3]

Received: 2016.02.03
Accepted: 2016.04.23

Introduction: Heat treatment of potato tissue involves chemical, physical and structural changes. The magnitude of these changes will depend on the extent of thermal processing in terms of time and temperature. Blanching is a heating process that used to inactivate enzymes, de-aeration and modification of texture, preserving color, flavor and nutritional value of fruits and vegetables prior to freezing, canning, drying and frying. Temperature and time of blanching is largely determined by the amount of reducing sugars and textural characteristics of the species. In the previous studies performed on the changes of reducing sugars content in potatoes during blanching, some researchers found evidence that besides the mass transfer to the bath there exists an internal generation of reducing sugars, probably due to an enzymatic hydrolysis of starch. Therefore when predicting the concentration of reducing sugars changes, both mechanisms should be considered. Considering that no study has been done on the effect of internal generation of reducing sugars on their effective diffusivity during blanching and so far there is no comprehensive study on the kinetic of texture changes during blanching of potato at different temperatures and also direct relationship of reducing sugars with Maillard reaction and acrylamide formation in potato, therefore the aims of this study are: 1) determination of effective diffusivity of reducing sugars with and without consideration of them generation and 2) investigation of kinetic of texture changes during blanching of potato strips at the temperature range of 50-90 ºC and modeling of these phenomena.

Materials and methods: Potatoes (variety Agria, ~23 g/100g (dry basis)) was the raw material used in this study. Potatoes stored in a dark room at 20 ºC for 2 weeks were washed and peeled. Then, were striped into dimensions of 0.8×0.8×8 cm using an electric striping machine (Halldeh, model RG-100). Raw potato strips were rinsed immediately after cutting for 1 min in distilled water to eliminate the starch material adhering to the surface prior to blanching. Then, blanching was accomplished by immersing the potato strips in hot distilled water (ratio of mass of potato to water of 1:20) at 50, 60, 70, 80 and 90 ºC. To investigate the kinetic of generation of reducing sugars, strips packaged in duplex in the polyethylene (HDPE with 10 micron thickness) film were immersed in hot distilled water to blanching at the temperatures. Samples were withdrawn after 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 100 and 120 minutes to measure the reducing sugars content and texture firmness. All experiments were done in triplicate. Maximum stress caused by penetrating of the probe (diameter of 2 mm) into strip texture was the texture evaluation index. To describe the mass transfer (extraction of reducing sugar) during blanching, a three dimensional numerical model based on finite difference method of solving Fick's Second Law has been developed in MATLAB software. The first order kinetic with production rate limiting effect was used to describe the potato strips texture changes during blanching. All experiments were done in triplicate as factorial based on completely randomized design. Data analysis and plotting of figures were performed in SAS and Excel software respectively.

Results and Discussion: The results showed that increasing of blanching temperature increase the reducing sugars effective diffusion coefficient significantly ($P<0.05$). Considering the effect of reducing sugars generation was led to increase of them effective diffusion coefficient significantly ($P<0.05$) which maximum increase (30.63%) was observed at 50 ºC. Final effective diffusion coefficient of reducing sugars during blanching of potato strips at temperature between 50 and 90 ºC were within the range of $1.45\text{-}5.13\times10^{-10}$ m^2/s and activation

1. MSc of Food Engineering, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Bachelor of Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.
(*-Corresponding Author Email: hamdami@cc.iut.ac.ir)

energy for this process was calculated 30.59 kJ/mol. Increasing time and temperature of blanching on the other side was led to decreasing potato strips firmness and dry matter content significantly (P<0.05). The numerical model was showed high conformity (2.01<%RMSE<3.49 at the temperature range of 50-90 ºC) with experimental data of reducing sugars extraction. The first order kinetic with production rate limiting effect was predicted the experimental data of decreasing of strips firmness with high conformity (6.2<%RMSE<44 at the temperature range of 50-90 ºC).

Conclusion: in this study the effect of internal generation of reducing sugars on them effective diffusion coefficient and also kinetic of texture changes during blanching of potato strips at the temperature range of 50-90 ºC were investigated. The results showed that increasing of blanching temperature: 1) increase the reducing sugars effective diffusion coefficient significantly (P<0.05). 2) Decrease the potato strips firmness and dry matter content significantly (P<0.05). Internal generation of reducing sugars during blanching was led to increase of them effective diffusion coefficient. The results also showed that the three dimensional numerical model can be used to describe the kinetic of extraction of reducing sugars during blanching of potato strips. The first order kinetic with production rate limiting effect was showed the best conformity with experimental data of texture changes during blanching of potato strips.

Keywords: Diffusion coefficient, Reducing sugar generation, Texture firmness, Numerical model, Kinetic model.